

放牧模式对祁连山东缘高寒草甸土壤理化特性和物种多样性的影响

张倩^{1,2}, 杨晶^{1,2}, 姚宝辉^{1,2}, 蔡志远^{1,2}, 王小燕^{1,2}, 苏军虎^{1,2}

(1. 甘肃农业大学草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学-新西兰梅西大学草地生物多样性研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 阐明不同放牧模式对土壤理化特性和物种多样性的影响, 为祁连山东缘高寒草甸的管理利用提供参考。选择划区轮牧(RG)、禁牧(PG)、轻度放牧(LG)和生长季休牧(GSG)4种放牧模式下的样地, 检测各样地间植被群落物种多样性、生物量和土壤养分等指标, 并分析其影响因素。结果发现: 1) LG样地0~30 cm土层土壤含水量最高, 且20~30 cm土层LG的土壤含水量显著高于RG、GSG和PG样地的土壤含水量($P < 0.05$), LG样地0~30 cm土层土壤容重最低, 但放牧模式对土壤pH值无显著影响, pH值均在7.0~7.8; GSG样地10~20 cm土层土壤有机碳和全氮含量显著高于PG样地($P < 0.05$), PG样地0~10 cm土层土壤全钾含量显著高于RG样地($P < 0.05$), LG和GSG样地20~30 cm土层土壤全钾含量显著高于RG和PG样地($P < 0.05$); 2) LG样地物种均匀度、丰富度和Shannon-wiener指数均最高; 3) 冗余分析表明, 不同放牧模式下土壤全钾、含水量、容重和pH值等是影响群落物种多样性的重要因素。综合分析, 轻度放牧模式能有效改善草地土壤和植被状况。

关键词: 放牧模式; 高寒草甸; 土壤理化性质; 物种多样性

中图分类号: S812.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2021)02-0105-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2021.02.015

放牧是草地最主要的利用和管理方式, 放牧家畜的采食和践踏是影响草地的主要形式^[1]。土壤中营养物质和排泄物的分解随家畜采食强度的变化而改变, 家畜采食也会导致群落结构的稳定性及物种多样性的改变^[2]。但过度放牧会导致草地退化, 降低草地生产力和植被覆盖面积等。研究发现, 物种多样性的高低与生态系统的抗自然灾害能力有关, 因此提高草地物种多样性对草地持续发展具有重要作用^[3]。有研究表明, 放牧对草地植被的影响符合“中度干扰假说”, 即适度放牧会显

著提高草地物种多样性^[4]。王仁忠等^[5]发现家畜严重采食会导致草地土壤容重增加。但也有研究表明, 在重牧区牛羊高强度的践踏, 会使土壤变得松散、容重下降^[6]。王玉辉等^[7]发现土壤水分随放牧强度的增加而降低。同时, 放牧对土壤有机质的影响与土壤水分、土壤温度、放牧强度、放牧频次和放牧持续时间等因素也有关, 通过优化不同的放牧管理模式, 可以提高草地生态系统中土壤养分含量和植被生长状况。

放牧模式从时间和空间范围内对放牧家畜进行了规定, 从而改变了家畜的放牧强度和频率, 使家畜采食和践踏对草地植被的生长产生正效应^[8]。放牧一般分为间断放牧和连续放牧。间断放牧会根据植被的生长情况和家畜的需要将草地合理分配, 对提高植被采食率有一定的作用, 也给植被提供充足的时间进行再次生长, 增加草产量^[9]。卫智军等^[10]发现轮牧区的牧草品质和草地牧草现存量高于连续放牧区。因此, 控制好家畜

收稿日期: 2020-04-13; 修回日期: 2020-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660522, 31760706); 甘肃省陇原青年创新创业人才团队项目(LYRC2019-5)

作者简介: 张倩(1995-), 女, 甘肃平凉人, 硕士研究生。

E-mail: 1634532748@qq.com

苏军虎为通讯作者。E-mail: sujh@gsau.edu.cn

的放牧时间和放牧强度,对提高草地利用率具有重要作用,例如采取一定的禁牧和休牧等管理模式。目前,祁连山东缘地区高寒草甸植被严重退化,导致毒杂草数量增加而家畜所食牧草数量减少、品质降低,土壤裸露面积也逐渐增加,水土流失严重,有些地区甚至出现“黑土滩”现象^[11]。而保护祁连山的生态环境、修复退化草地,需要了解当地典型和传统的放牧模式对草甸植被群落和土壤养分的消耗与利用。为此,本研究选择祁连山东缘高寒草甸常用的4种放牧模式(划区轮牧、禁牧、轻度放牧和生长季休牧),对其土壤理化特性和群落特征进行分析,以探寻高寒草甸土壤养分和物种多样性在不同放牧模式下的变化特征,为祁连山东缘地区高寒草甸生态系统的保护与利用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验区位于甘肃省天祝县抓喜秀龙镇。地理位置N 37°19',E 102°45',平均海拔2 900 m,年平均气温-1℃,年日照时数2 500~2 700 h,降水主要集中在6~8月,年均降水量416 mm,年均蒸发量1 600 mm,属大陆性半干旱气候,无绝对无霜期,属于亚高山土壤类型^[12]。草地植被有苔草(*Carex supina*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、黄花棘豆(*Medicago falcata*)等。

1.2 样地设置

2018年8月初在试验站附近选择划区轮牧(Rotational grazing, RG),面积1.4 hm²,放牧时间从2012年到2018年,轮牧时间为180 d,轮牧次数为3次,年轮牧强度为5.38 羊/hm²,轮牧起始时间为5月15日,结束时间为11月15日;轻度放牧(Light grazing, LG),面积2.0 hm²,放牧率为3.07 羊/hm²;生长季休牧(Growing season non-grazing, GSG),面积4.4 hm²,时间为2015年到2018年,生长季放牧率为0,非生长季放牧率为4.53 羊/hm²,每年在4月15日到9月15日休牧,其余时间自由放牧;禁牧(Prohibition grazing, PG),面积5.4 hm²,时间为2011年到2018年,全年禁牧,每种放牧模式仅设置1个样地。每种样地的地形均为平地(表1)。

1.3 取样及计算方法

1.3.1 群落特征和土壤取样 分别在每个样地中随机选择3个50 cm×50 cm的样方,用针刺法测量群落

表1 样地描述

Table 1 Description of sampling sites

放牧模式	地理位置	优势种
RG	E 102°47'06"	苔草 <i>Carex supina</i>
	N 37°11'46"	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>
		黄花棘豆 <i>Medicago falcata</i>
PG	E 102°46'47"	冰草 <i>A. cristatum</i>
	N 37°11'55"	苔草 <i>C. supina</i>
		黄花棘豆 <i>O. ochrocephala</i>
LG	E 102°45'30"	冰草 <i>A. cristatum</i>
	N 37°12'06"	苔草 <i>C. supina</i>
		多裂委陵菜 <i>Potentilla mulati fida</i>
GSG	E 102°45'30"	苔草 <i>C. supina</i>
	N 37°12'01"	冰草 <i>A. cristatum</i>
		黄花棘豆 <i>O. ochrocephala</i>

注:RG:划区轮牧,PG:禁牧,LG:轻度放牧,GSG:生长季休牧,下同

物种总盖度,并且测量每种植物的高度以及利用样圆测物种的频度(样圆面积0.25 m²)。在每个样方内,用剪刀齐地面割样方内所有植物放入信封。在烘箱中70℃烘干48 h至恒重,称重记录。地下生物量用20 cm×20 cm的铁丝框,在割完的每个样方内,分0~10,10~20和20~30 cm土层取出土壤样品装入60目的网袋,抖落松散土壤并用清水冲洗干净,在70℃烘箱内烘干48 h至恒重,称重记录,最后生物量都以g/m²表示。用直径为5 cm土钻采用五点法取样,将5个点混合为1个重复,分0~10,10~20和20~30 cm土层取出土壤样品,装入自封袋,带回实验室自然风干测定土壤理化性质,3次重复^[13]。

1.3.2 测定方法 土壤pH值用酸度计法测定;土壤含水量用烘干法测定;土壤容重用环刀法测定;土壤全氮用凯氏定氮法测定;土壤全磷用硫酸-高氯酸消化-钼锑抗显色法测定;全钾用硫酸-高氯酸消化-火焰光度法测定;土壤有机碳用硫酸-重铬酸钾外加热法^[14]。

1.3.3 物种重要值、丰富度指数、Pielou均匀度指数和Shannon-wiener指数计算方法

$$IV=A+B+C$$

$$O=\frac{S-1}{\ln N}$$

$$I_{sw}=\frac{H}{\ln S}$$

$$H=-\sum P_i \ln(P_i)$$

式中, IV : 物种的重要值; A : 相对高度; B : 相对盖度; C : 相对频度; O : 丰富度指数; S : 样方中的物种总数; N : 样方各物种重要值之和; H : Shannon-wiener 指数; P_i : 物种 i 的相对重要值; I_{sw} : 均匀度指数^[15]。

1.4 数据分析

用 Excel 2007 对所有原始数据进行记录并做相关图表; 采用 SPSS 19.0 对不同放牧模式下土壤因子和植被特征进行单因素方差分析; 用 R 语言软件 Vegan 包进行冗余分析, 判断土壤理化特性对物种多样性的影响程度。 P 表示显著性检验结果, 所有显著性均采用蒙特卡罗置换检验(置换次数 999 次)^[16]。

2 结果与分析

2.1 不同放牧模式下土壤理化性质的变化

对不同放牧模式下土壤因子分析可知, 0~30 cm 土层 LG 样地土壤含水量最高, RG 样地最低, 且 LG 样地 20~30 cm 土层土壤含水量显著高于 RG、GSG 和 PG 样地土壤含水量($P<0.05$), 同一放牧模式下, 土壤含水量随着土层加深而减少。 PG、RG 和 GSG 样地 0~10 cm 土层土壤含水量显著高于 10~20、20~

30 cm 土层含水量($P<0.05$); 0~30 cm 土层 PG 样地土壤容重最大, LG 样地土壤容重最小, 不同放牧模式下, 土壤容重随着土层加深而逐渐升高, 各土层间土壤容重变化不大; 不同放牧模式下土壤均呈弱碱性, pH 值在 7.0~7.8(图 1)。

对不同放牧模式下土壤养分比较发现, 0~10 cm 土层全氮在 GSG 样地最高, PG 样地最低, 10~20 cm 土层全氮在 GSG 和 RG 样地显著高于 LG 和 PG 样地($P<0.05$), 20~30 cm 土层全氮在 RG 样地最高, PG 样地最低; 全磷含量在不同放牧模式下变化不大; PG 样地 0~10 cm 土层全钾含量显著高于 RG 样地($P<0.05$), LG 和 GSG 样地 20~30 cm 土层全钾含量显著高于 RG 和 PG 样地($P<0.05$), 10~20 cm 土层各放牧模式间差异均不显著($P>0.05$); GSG 样地 0~10 cm 土层土壤有机碳含量显著高于 PG、LG 和 RG 样地($P<0.05$), GSG、RG 和 LG 样地 10~20、20~30 cm 土层土壤有机碳含量显著高于 PG 样地($P<0.05$); 0~10、10~20 cm 土层碳氮比含量均在 RG 样地最高, LG 样地最低, 20~30 cm 土层碳氮比含量在 PG 样地最高, GSG 样地最低(表 2)。

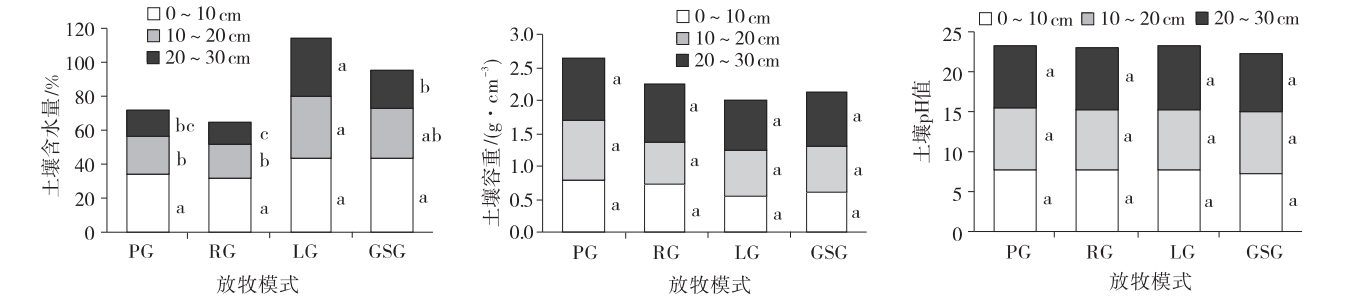


图 1 不同放牧模式下的土壤物理性质

Fig. 1 Soil water content in different soil layers under four different grazing management regimes

注: 不同小写字母表示放牧模式间差异显著($P<0.05$)

表 2 不同放牧模式下的土壤养分

Table 2 Soil nutrients in different soil layers under four different grazing management regimes

土层深度/ cm	放牧模式	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全钾/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机碳/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碳氮比
0~10	RG	5.68±0.33 ^a	3.31±0.26 ^a	16.22±0.29 ^b	65.13±1.19 ^{ab}	11.57±0.91 ^a
	PG	5.03±0.69 ^a	3.02±0.16 ^a	17.21±0.22 ^a	55.19±5.96 ^b	11.09±0.44 ^a
	LG	5.78±0.75 ^a	2.84±0.12 ^a	16.66±0.11 ^{ab}	60.74±6.26 ^b	10.96±1.95 ^a
	GSG	7.16±0.81 ^a	3.15±0.27 ^a	16.76±0.21 ^{ab}	77.77±0.33 ^a	11.16±1.31 ^a
10~20	RG	4.53±0.22 ^b	3.05±0.03 ^a	16.43±0.14 ^a	55.24±3.19 ^a	12.19±0.33 ^a
	PG	3.63±0.06 ^c	3.08±0.03 ^a	16.59±0.70 ^a	41.14±4.15 ^b	11.35±1.23 ^a
	LG	6.15±0.18 ^a	3.06±0.15 ^a	17.18±0.14 ^a	66.39±4.45 ^a	10.79±0.68 ^a
	GSG	6.09±0.46 ^a	3.00±0.26 ^a	16.89±0.12 ^a	65.46±2.38 ^a	10.85±0.75 ^a

续表 2						
土层深度/ cm	放牧模式	全氮/ (g · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	全钾/ (g · kg ⁻¹)	有机碳/ (g · kg ⁻¹)	碳氮比
20~30	RG	5.90±1.02 ^a	2.97±0.05 ^a	15.36±0.39 ^b	47.28±3.60 ^a	8.37±1.08 ^a
	PG	3.50±1.07 ^a	2.96±0.10 ^a	14.96±0.29 ^b	26.10±3.65 ^b	9.23±2.93 ^a
	LG	5.50±0.62 ^a	2.97±0.15 ^a	17.06±0.07 ^a	47.12±3.70 ^a	8.84±1.32 ^a
	GSG	5.69±0.52 ^a	3.58±0.31 ^a	17.08±0.36 ^a	43.33±0.51 ^a	7.74±0.67 ^a

注:不同小写字母表示增放牧模式间差异显著($P<0.05$),下同

2.2 不同放牧模式下物种多样性的变化

用物种 Shannon-wiener 指数、均匀度指数、丰富度指数以及重要值等来衡量不同放牧模式下植被群落多样性变化,具体表现为:RG 样地物种重要值显著小于 GSG 和 LG 样地物种重要值($P<0.05$);RG 和 LG

样地物种 Shannon-wiener 指数显著高于 PG 和 GSG 样地;PG、LG 和 GSG 样地物种均匀度指数显著高于 RG 样地物种均匀度指数($P<0.05$);总盖度和物种丰富度指数在不同放牧模式间差异均不显著($P>0.05$) (表 3)。

表 3 不同放牧模式下的物种多样性

Table 3 Species diversity under four different grazing management regimes					
放牧模式	总盖度/%	重要值	丰富度指数	均匀度指数	Shannon-wiener 指数
RG	99.00±0.58 ^a	1.06±0.11 ^b	2.72±0.36 ^a	0.85±0.02 ^b	1.55±0.14 ^a
PG	100.00±0.00 ^a	1.31±0.13 ^{ab}	2.64±0.20 ^a	0.94±0.02 ^a	1.79±0.04 ^b
LG	100.00±0.00 ^a	1.56±0.07 ^a	3.52±0.29 ^a	0.96±0.00 ^a	2.29±0.08 ^a
GSG	100.00±0.00 ^a	1.52±0.03 ^a	2.62±0.17 ^a	0.95±0.01 ^a	1.89±0.10 ^b

2.3 不同放牧模式下植被生物量的变化

不同放牧模式下物种地上、地下生物量不同。总体来看,地上生物量分布在 250~500 g/m²,地下生物量分布在 1 000~3 500 g/m²,且主要分布在地下 0~10 cm 土层,随着土层深度的增加而逐渐减少,PG 和 GSG 样地地上生物量和地下生物量相对较高,LG 样地地上生物量和地下生物量均最低(图 2)。

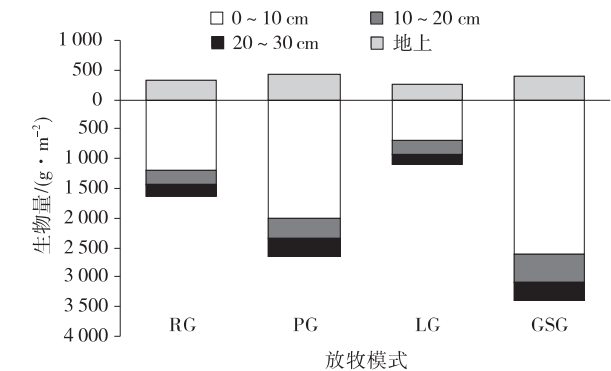


图 2 不同放牧模式下的植被生物量

Fig. 2 Vegetation biomass under four different grazing regimes

2.4 物种多样性与土壤因子的 RDA 分析

采用冗余分析(Redundancy analysis,RDA)法,将土壤因子作为解释变量,物种多样性作为响应变量进

行 RDA 分析。结果表明:土壤因子解释了 98.97%的物种多样性的变化,且土壤含水量、全钾含量、地上生物量和全氮含量与物种 Shannon-wiener 指数、丰富度和均匀度呈正相关,容重和 pH 值与物种 Shannon-wiener 指数、丰富度和均匀度呈负相关(图 3)。

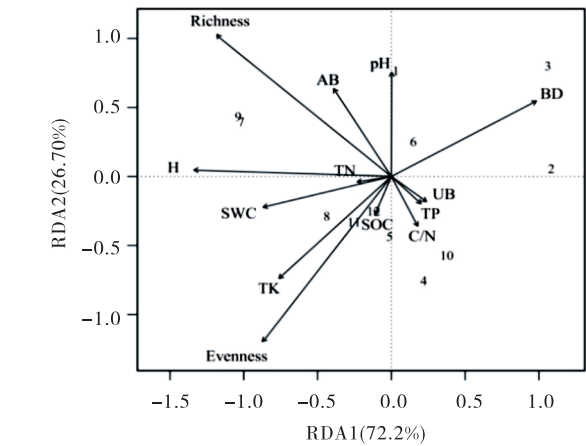


图 3 土壤因子和物种多样性的 RDA 排序图

Fig. 3 The ranking of 13 soil and plant traits using redundancy analysis

注:SWC:含水量;BD:容重;TN:全氮;TP:全磷;TK:全钾;SOC:有机碳;C/N:碳氮比;UB:地下生物量;AB:地上生物量;H:Shannon-wiener 指数;Evnness:均匀度指数;Richness:丰富度指数,下同

在土壤因子和物种多样性的 RDA 排序相关系数中, RDA1 和 RDA2 两列表示解释变量与排序轴的相关系数, r^2 表示解释变量(土壤因子)对物种多样性的决定系数。按照土壤因子对物种多样性的决定系数排序为: 全钾 > 容重 > pH 值 > 含水量 > 地上生物量 > 碳氮比 > 有机碳 > 全磷 > 地下生物量 > 全氮, 其中, 土壤容重与物种多样性为正相关 ($P < 0.05$), 相关系数为 0.814, 全钾与物种多样性间为负相关 ($P < 0.05$), 相关系数分别为 -0.778 (表 4)。

表 4 物种多样性与土壤因子 RDA 排序相关系数

Table 4 Correlation coefficients between species diversity and RDA ranking of soil factors

	RDA1	RDA2	r^2	$Pr(>r)$
SWC	-0.950	-0.314	0.325	0.197
BD	0.814	0.581	0.567	0.017
pH	0.006	0.999	0.363	0.115
TN	-0.976	-0.218	0.022	0.903
TP	0.623	-0.782	0.040	0.836
TK	-0.628	-0.778	0.574	0.028
SOC	-0.301	-0.953	0.053	0.789
C/N	0.360	-0.933	0.095	0.640
AB	-0.431	0.903	0.316	0.188
UB	0.716	-0.698	0.043	0.844

3 讨论

3.1 不同放牧模式对土壤理化性质的影响

家畜放牧对草地的影响是通过土壤指标而表现出来, 不同的放牧模式下各土壤因子的变化不同^[17]。本研究结果表明, 土壤含水量在轻度放牧下较其余 3 种放牧模式高, 可能因为轻度放牧下植被的覆盖度和丰富度都较高, 导致土壤中的植被根系较多, 植物根系能够很好地吸收土壤中的水分。较低的放牧强度使土壤较为疏松, 土壤的透气性增加, 导致土壤容重降低, 含水量增加。也有研究发现, 高寒草甸土壤含水量的变化与放牧强度呈负相关, 即土壤水分随放牧强度降低而增加^[18], 可能是牛羊低强度的践踏, 使草地植被覆盖度高, 裸露面积小不利于土壤水分的蒸发, 并且物种多样性增加, 草毡层较厚, 也有利于雨水和雪水的积累。但李永宏等^[19]对内蒙古草原的研究表明, 随放牧强度的增加土壤含水量增加, 与本研究结果的差异可

能由于研究样地的不同所导致, 因为内蒙古典型草原和天祝草甸的降水、气温和海拔等都有一定的差异。土壤容重是衡量土壤的渗透性强弱和孔隙度大小的重要指标, 受土壤质地、土壤矿化作用和土壤紧实度等因素的影响^[20]。贾树海等^[21]发现土壤容重在草地退化过程中变化较为敏感, 可作为原生草地到退化草地的一种衡量指标。有研究指出, 重度放牧区容重较大, 可能由于牛羊高强度的践踏使土壤孔隙度和土壤通透性降低, 导致重度放牧区的土壤容重较大^[22]。本试验中度和轻度放牧下土壤容重都较小, 可能由于轻度放牧下土壤中植被凋落物分解较快, 土壤中腐殖质含量较高, 土壤紧实度较小, 因此轻度放牧下土壤容重较低。本研究中, 生长季休牧下土壤全氮和有机碳在 0~10, 10~20 cm 土层均高于禁牧区, 此结果符合“中度干扰假说”, 即中等程度的干扰有利于土壤养分的积累, 并对土壤结构的修复也有一定的积极作用, 而长期禁牧对土壤呼吸和分解会产生一定的负作用, 不利于土壤养分的积累, 这与李文等^[23]对天祝高寒草甸土壤理化特性的研究结果相似。原因可能由于适度的牛羊践踏会使植被碎屑化, 使植被凋落物与土壤充分接触, 当植物死亡后, 加速大量根系和土壤中小型动物残体分解, 由于本试验禁牧的时间较长, 禁牧区积累的凋落物较多, 但长时间的禁牧使凋落物不能有效地分解和转化, 而牛羊的适当踩踏反而会加速凋落物的分解和转化, 从而提高土壤中的有机碳和全氮的含量^[24]。

3.2 不同放牧模式对物种多样性的影响

高寒草甸对放牧、鼯鼠干扰等因素十分敏感, 微小波动都会使草地生态系统产生强烈的响应, 进而导致群落特征、植物多样性和生产力发生很大的改变^[25]。Turnbull^[26]生态位研究指出, 物种的共存是生态位的一种互补效应, 但这种共存不能促使草地生态系统的稳定发展。“中度干扰假说”认为^[27], 中等强度的干扰会阻碍生长旺盛的植物对资源的利用, 有利于生长能力较弱的物种对资源的吸收和利用, 使群落物种多样性增加。有研究指出在青藏高原高寒草甸区域对草地实施季节性放牧管理, 能够增加群落物种数和物种多样性^[28]。李文等^[29]对高寒草甸不同放牧管理模式群落物种多样性的研究认为, 全生长季休牧下物种多样性较高。本研究发现, 轻度放牧下物种的丰富度指数、均匀度指数和 Shannon-wiener 指数均较高, 可能由于轻度放牧的干扰程度对当地生态位

分化最有利,打破原有物种的生活方式,使草地原有优势种的竞争力降低,抑制优势种的生长,为某些伴生种的生存提供良好的环境^[30],因此轻度放牧下物种多样性较大。

3.3 不同放牧模式对土壤因子和物种多样性关系的影响

不同放牧模式的干扰会导致草地植被群落和土壤因子的不同,例如群落结构和组成、枯枝落叶的分解速度等各种生物因素和非生物因素等都会产生不同的响应,也会影响草地生态系统中土壤的肥力水平^[31]。有研究指出,不同放牧模式(围栏封育、禁牧和划区轮牧等)对草地土壤结构和生物量会产生显著的影响,但各种放牧模式通过不同的影响过程和程度对草地产生不同的效应^[32]。本研究结果表明,土壤物理性质对群落物种多样性的影响较大,可能由于高寒草甸降水量较少而蒸发比较大,导致草地缺水,而植被生长过程中水分是必须因素,因此土壤含水量可能会直接影响草地植被的生长情况,也有研究表明土壤含水量是影响物种多样性的重要限制因素^[33],与本研究结果相似。当高寒草甸生态系统合理利用时,能量和物质基本处于一个优良的状态,供需水平也比较稳定,土壤保持在一个比较好的状态,能够正常为地上植被提供肥力。同时植被的残落物和牛羊的粪便也会归还到土壤中,使草-畜-土维持良好的循环与平衡。

4 结论

不同放牧模式显著影响了高寒草甸土壤养分和物种多样性。轻度放牧样地 0~30 cm 土层土壤含水量最高,且 20~30 cm 土层轻度放牧样地含水量显著高于划区轮牧、生长季休牧和禁牧样地($P<0.05$),轻度放牧样地 0~30 cm 土层土壤容重最低,放牧模式对土壤 pH 值没有显著影响,土壤均呈弱碱性;生长季休牧样地 10~20 cm 土层土壤有机碳和全氮含量显著高于禁牧样地($P<0.05$),禁牧样地 0~10 cm 土层全钾含量显著高于划区轮牧地($P<0.05$),轻度放牧和生长季休牧样地 20~30 cm 土层全钾含量显著高于划区轮牧和禁牧样地($P<0.05$);轻度放牧样地物种多样性、丰富度和 Shannon-wiener 指数均最高。冗余分析表明,不同放牧模式下土壤全钾含量、含水量、容重和 pH 值是影响群落物种多样性的重要因素。因此,轻度放牧能有效地改善草地土壤和植被状况。

参考文献:

- [1] 何贵永,孙浩智,史小明,等. 青藏高原高寒湿地不同季节土壤理化性质对放牧模式的响应[J]. 草业学报,2015,24(4):12-20.
- [2] 王镜植. 大型草食动物采食与粪便对大针茅草原植被特征及氮矿化的作用[D]. 长春:东北师范大学,2017.
- [3] 张倩,杨晶,姚宝辉,等. 放牧管理模式对高寒草甸鼯鼠鼠丘群落演替的影响[J]. 生态学报,2020,40(8):2802-2811.
- [4] 哈达朝鲁,布仁其其格,刘仲龄,等. 放牧强度对草原植物群落多样性与生产力的影响研究进展[J]. 中国科技成果,2010,11(24):21-24.
- [5] 王仁忠,李建东. 放牧对松嫩平原羊草草地影响的研究[J]. 草业科学,1992,9(2):11-14.
- [6] 付华,王彦荣,吴彩霞,等. 放牧对阿拉善荒漠草地土壤性状的影响[J]. 中国沙漠,2002,22(4):32-36.
- [7] 王玉辉,何兴元,周广胜. 放牧强度对羊草草原的影响[J]. 草地学报,2002,10(1):45-49.
- [8] 彭祺,王宁. 不同放牧制度对草地植被的影响[J]. 农业科学研究,2005,26(1):27-30.
- [9] Cui X, Graf H F. Recent land cover changes on the Tibetan Plateau: a review[J]. Climatic Change, 2009, 94(1-2): 47-61.
- [10] 卫智军,杨静,苏吉安,等. 荒漠草原不同放牧制度群落现存量与营养物质动态研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003,21(4):53-57.
- [11] 高树琴,赵霞,方精云. 我国草地的固碳功能[J]. 中国工程科学,2016,18(1):73-79.
- [12] 李小龙,曹文侠,张晓燕,等. 划破草皮对祁连山不同地形高寒矮嵩草草甸土壤呼吸特征的影响[J]. 草原与草坪,2020,10(2):30-38.
- [13] 马文红,方精云. 中国北方典型草地物种丰富度与生产力的关系[J]. 生物多样性,2006(1):21-28.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 刘灿然,马克平. 生物群落多样性的测度方法[J]. 生态学报,1997,17(6):601-610.
- [16] 赖江山,米湘成. 基于 Vegan 软件包的生态学数据排序分析[C]//厦门大学. 第九届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 厦门:厦门大学,2012:332-343.
- [17] 王兴,宋乃平,杨新国,等. 放牧扰动下草地植物多样性对土壤因子的响应[J]. 草业学报,2013,22(5):27-36.
- [18] 张蕴薇,韩建国,李志强. 放牧强度对土壤物理性质的影响[J]. 草地学报,2002,10(1):74-78.

- [19] 李永宏. 内蒙古典型草原地带退化草原的恢复动态[J]. 生物多样性, 1995(3):125—130.
- [20] 吴军虎, 张铁钢, 赵伟, 等. 容重对不同有机质含量土壤水分入渗特性的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3):65—69+270.
- [21] 贾树海, 王春枝, 孙振涛, 等. 放牧强度和时期对内蒙古草原土壤压实效应的研究[J]. 草地学报, 1999, 7(3):217—222.
- [22] 王向涛. 放牧强度对高寒草甸植被和土壤理化性质的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [23] 李文, 曹文侠, 师尚礼, 等. 放牧管理模式对高寒草甸生态系统有机碳、氮储量特征的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(11):25—33.
- [24] 杨晶晶, 吐尔逊娜依·热依木, 张青青, 等. 放牧强度对天山北坡中段山地草甸植被群落特征的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(8):1953—1961.
- [25] 苏军虎, 南志标, 纪维红. 家畜放牧对草地啮齿动物影响的研究进展[J]. 草业学报, 2016, 25(11):136—148.
- [26] Turnbull L A, Levine J M, Loreau M, *et al.* Coexistence, niches and biodiversity effects on ecosystem functioning [J]. *Ecology Letters*, 2013, 16 (S1):116—127.
- [27] 席博, 朱志红, 李英年, 等. 放牧强度和生境资源对高寒草甸群落补偿能力的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2010, 46(1):83—90.
- [28] 王玉琴, 鲍根生, 王宏生, 等. 不同放牧制度对高原鼯鼠活动区高寒草地群落结构影响[J]. 草地学报, 2018, 26(1):134—141.
- [29] 李文. 不同放牧管理模式对高寒草甸植被、土壤和碳氮储量特征的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [30] 王长庭, 龙瑞军, 王启兰, 等. 放牧扰动下高寒草甸植物多样性、生产力对土壤养分条件变化的响应[J]. 生态学报, 2008, 28(9):4144—4152.
- [31] 魏伯平, 赵生国, 焦婷. 放牧对温性荒漠草原植物群落及草地土壤肥力的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(5):855—862.
- [32] 马丹丹, 王瑾瑜. 长期增温对荒漠草原短花针茅群落组成和土壤养分及酶活特征的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(3):144—153.
- [33] 刘思齐. 内蒙古典型草原放牧强度对土壤微生物群落多样性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.

Effects of grazing modes on soil physical, chemical properties and species diversity in alpine meadow in the eastern margin of Qilian Mountains

ZHANG Qian^{1,2}, YANG Jing^{1,2}, YAO Bao-hui^{1,2}, CAI Zhi-yuan^{1,2},
WANG Xiao-yan^{1,2}, SU Jun-hu^{1,2}

(1. *College of Grassland Science, Key Laboratory of Grassland Ecosystem (Ministry of Education), Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing land Ecosystem Sustainability, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*; 2. *Gansu Agricultural University-Massey University Research Centre for Grassland Biodiversity, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*)

Abstract: This study investigated the effects of grazing patterns on soil physical and chemical characteristics and species diversity, to provide guidance for the restoration and management of alpine meadow in the eastern margin of Qilian Mountains. Four grazing regimes were used, including rotational grazing (RG), grazing prohibition (PG), light grazing (LG) and non-growing season grazing (GSG). Species diversity, vegetation biomass and soil nutrients were measured under each grazing regime. Our results showed that soil water content in the LG was highest in the 0~30 cm layer, and was significantly higher than in RG, GSG and PG in the 20~30 cm layers

($P < 0.05$). Soil bulk density was lowest in the 0~30 cm layers under LG compared with the other regimes. Grazing regime has no effects on soil pH. Soil organic carbon and total nitrogen under GSG were significantly higher than that under PG in the 10~20 cm layer ($P < 0.05$). Total potassium under PG was significantly higher than that under RG in the 0~10 cm layer ($P < 0.05$), and total potassium under LG and GSG was significantly higher than that of RG and PG in the 20~30 cm layers ($P < 0.05$). Species evenness index, richness index and shannon-wiener index were highest under LG. Redundancy analysis showed that total potassium, water content, bulk density and pH value were important factors affecting species diversity. Our results showed that the light grazing regime could effectively improve soil nutrition and species diversity of grassland.

Key words: grazing regimes; alpine meadow; soil physical and chemical properties; species diversity

+++++
(上接 104 页)

Effects of NaCl stress on seed germination and the physiological characteristics of alfalfa seedling

MIAO Han¹, WANG Lu-bei², WANG Zhen-nan¹, LI Fu-kuan¹, WANG Hui¹,
YANG Yan³, LV Shen-jin¹

(1. College of Agriculture and Forestry Science, Linyi University, Linyi 276000, China; 2. Comprehensive Management Service Center of Linyi, Linyi 276000, China; 3. Linyi academy of agricultural sciences, Linyi 276012, China)

Abstract: Alfalfa seeds were germinated in the petri dishes. Seed germination and seedling growth were observed in response to different NaCl concentrations. The results showed that NaCl stress significantly inhibited seed germination and the seedling growth of alfalfa, with the inhibitory effects on roots were more severe than shoots. Under NaCl stress, the protective substances (i. e. SOD, proline and soluble protein) could be used to reduce the level of MDA. Therefore, alfalfa can reduce NaCl stress by auto-physiological regulation, and grow in saline-alkali soil.

Key words: NaCl stress; alfalfa; seed germination; seedling growth; physiological characteristics